



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 38 40 224.6  
②② Anmeldetag: 29. 11. 88  
②③ Offenlegungstag: 22. 6. 89

Behörden-eigentum

DE 3840224 A1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
07.12.87 HU 5461

⑦① Anmelder:  
Tempinszky, Miklos, Budapest, HU

⑦④ Vertreter:  
Eitle, W., Dipl.-Ing.; Hoffmann, K., Dipl.-Ing.  
Dr.rer.nat.; Lehn, W., Dipl.-Ing.; Fuchsle, K.,  
Dipl.-Ing.; Hansen, B., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Brauns, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Görg, K.,  
Dipl.-Ing.; Kohlmann, K., Dipl.-Ing.; Kolb, H.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Ritter und Edler von  
Fischern, B., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte; Nette, A.,  
Rechtsanw., 8000 München

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Bahn für Verkehrsmittel, insbesondere für Stadtbahnen zum Beispiel für Metros

Gegenstand der Erfindung ist eine Bahn für Verkehrsmittel, insbesondere für Stadtbahnen, zum Beispiel Metros, mit mindestens einem Anstieg und einem Gefälle. Das Wesen der Erfindung besteht darin, daß die Bahn (1) mindestens einen Verlangsamungs-Beschleunigungsteil (A) hat, der die Bewegungsenergie des Fahrzeuges beziehungsweise Zuges (2) in der negativen Beschleunigungsphase zumindest zum größten Teil in potentielle Energie umwandeln, und dann diese zur nächsten positiven Beschleunigung des Fahrzeuges wieder in Bewegungsenergie zurückverwandeln kann, und der einen ansteigenden Abschnitt ( $L_1$ ) und in Fahrtrichtung betrachtet einen darauffolgenden abfallenden Abschnitt ( $L_2$ ) besitzt.

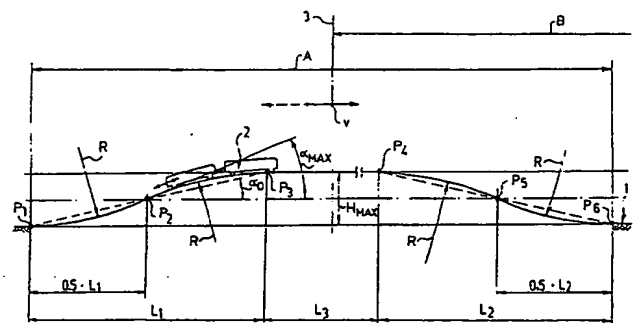


Fig.1

DE 3840224 A1

Die Erfindung betrifft eine Bahn für Verkehrsmittel, insbesondere für Stadtbahnen wie zum Beispiel Metros, die auch einen ansteigenden und abfallenden Abschnitt besitzen.

Aus der Bewegungsgleichung von Kraftfahrzeugen ist bekannt, daß bei gegebener Motorleistung und Konstruktion zur Ortsveränderung die vom Motor ausgeführte Zugkraft durch den Roll- und Wegwiderstand, den Luftwiderstand sowie den Trägheitswiderstand bedeutend verringert wird (siehe zum Beispiel Dr. Ábrahám: "Handbuch des Straßenverkehrs", Band I, Műszaki Kiadó, Budapest, 1978, Seite 782).

Obwohl die Massenverkehrsmittel und die Transportfahrzeuge (Eisenbahnen, Metros) meistens auf waagerechten Bahnen laufen, wird den praktischen Erfahrungen gemäß die Motorleistung von den Konstrukteuren auf Grund der Beschleunigungsfähigkeit bestimmt, da die Beschleunigung die größte Zugkraft und Leistung erfordert. Es ist weiterhin bekannt, daß das Kraftfahrzeug diesen maximalen Zugkraft- und Leistungsbedarf lediglich in einem Bruchteil seiner Funktionszeit benötigt, da die Beschleunigung eine relativ kurze Zeit in Anspruch nimmt. Beim Bremsen hingegen überführen die Bremsen die überflüssige Potential- und Bewegungsenergie des Fahrzeuges in Wärme, daß heißt, diese Energie geht verloren.

Um die Bremsenergie beziehungsweise die Energie des Bergabfahrens teilweise zu nutzen, fand man besonders in den letzten Jahren vielerlei Lösungen, so zum Beispiel die Schwungrad-Antriebssysteme oder andere energiesparende (beziehungsweise rekuperierende) Antriebssysteme (siehe beispielsweise DE-OS 32 24 981, 32 30 460, 33 12 185, DE-GM 82 03 293, 83 35 470; US-PS 44 08 500).

Mit diesen Lösungen können zwar prinzipiell höchstens 10—25% Energie gespart werden, sie konnten jedoch in der Praxis keine Verbreitung finden, da sie eine komplizierte und teure Konstruktion haben.

Weiterhin werden bei Eisenbahnen stellenweise geradlinige Gefälle (mit maximal 3% Gefälle) angewandt, um eine geringe Senkung der Start- beziehungsweise Bremsenergie zu erreichen.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine Lösung für Fahrzeuge insbesondere Stadtbahnen wie zum Beispiel Metros zu schaffen, mit der nach einer relativ geringen Investition eine wesentlich höhere Energiemenge eingespart werden kann, als bei den bekannten Lösungen.

Grundlage der Erfindung ist die Erkenntnis, daß die gestellte Aufgabe gelöst werden kann, wenn man die Möglichkeiten der Energieeinsparung — entgegen der in der Fachwelt allgemein vertretenen Auffassung — nicht im Kraftfahrzeug an sich, sondern im Aufbau der Bahn sucht. Die Beschleunigungsenergie (d. h. Energie zur positiven Beschleunigung des Fahrzeuges kommt zum größten Teil durch das Abrollenlassen des Fahrzeuges auf dem abfallenden Bahnabschnitt zustande, beim Verlangsamen (d. h. bei negativer Beschleunigung) hingegen wird die Bewegungsenergie des Fahrzeuges auf dem ansteigenden Abschnitt der Bahn in potentielle Energie umgewandelt und ohne Bremsen mit einem guten Wirkungsgrad für die folgende Beschleunigung ausgenutzt, wobei das Fahrzeug selbst unverändert bleiben kann. Mit diesen Maßnahmen kann die notwendige Motorleistung bedeutend verringert werden, da diese nicht auf die Beschleunigungszugkraft beziehungsweise den Energiebedarf bemessen werden muß.

Die gestellte Aufgabe wird also bei dem in der Einführung beschriebenen System erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Bahn mindestens einen Verlangsamungs-Beschleunigungsteil hat, der einen ansteigenden Abschnitt und — in der Fahrtrichtung des Fahrzeuges gesehen — einen darauffolgenden abfallenden Abschnitt umfaßt, wodurch die Bewegungsenergie des Fahrzeuges beim Verlangsamen (bei negativer Beschleunigung) vor der Haltestelle zumindest größtenteils in potentielle Energie, diese potentielle Energie des Fahrzeuges hingegen bei der folgenden positiven Beschleunigung zumindest größtenteils in Bewegungsenergie umgewandelt werden kann. Somit erfolgt also die positive Beschleunigung des Fahrzeuges hauptsächlich mit Hilfe der potentiellen Energie aus dem obigen Bahnabschnitt.

Zweckmäßig ist eine Ausführungsform, bei der der Verlangsamungs-Beschleunigungsteil der Bahn wellenartig ausgebildet ist, bei dem gegebenenfalls zwischen den ansteigenden Abschnitt und den abfallenden Abschnitt ein waagerechter Abschnitt eingefügt ist. Dieser Zwischenabschnitt dient als Haltestelle, seine Länge beträgt vorteilhaft das 1,5fache der Länge des Fahrzeuges beziehungsweise Zuges.

Weitere Merkmale der Erfindung sind, daß auf dem ansteigenden und abfallenden Abschnitt der Anstieg beziehungsweise das Gefälle höchstens 45%, vorzugsweise 20—25%, sind, der Steilheitswinkel im Durchschnitt 10—15% beträgt, weiterhin beträgt der Krümmungsradius der in einer senkrechten Ebene liegenden Kurve der Bahn 100—105 m.

Weitere vorteilhafte Ausführungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung sind in der folgenden Beschreibung zusammengefaßt.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung, in der eine beispielhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Lösung dargestellt ist, näher erläutert.

Fig. 1 ist eine Prinzipskizze eines Teils des erfindungsgemäßen Bahnsystems;

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, in dem der Zusammenhang von Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges und Niveauunterschied der Bahn betrachtet wird.

In Fig. 1 wird ein Teil der erfindungsgemäßen Bahn dargestellt, wobei die Bahn im Ganzen mit 1 gekennzeichnet wurde. Die Bahn 1 ist in diesem Fall für städtische Metros bestimmt. Gemäß der Erfindung hat die Bahn 1 mindestens einen Verlangsamungs-Beschleunigungsteil A, der die Bewegungsenergie des Fahrzeuges (beziehungsweise des Zuges) beim Verlangsamen vor der Haltestelle zum größten Teil in potentielle Energie umwandeln, dann diese potentielle Energie für die darauffolgenden (positiven) Beschleunigung zumindest zum größten Teil in Bewegungsenergie zurückverwandeln kann. Der erfindungsgemäße Verlangsamungs-Beschleunigungsteil A der Bahn 1 besteht aus einem ansteigenden Abschnitt  $L_1$  und aus einem sich — in der Fahrtrichtung  $\vec{v}$  (mit einem durchgehenden Pfeil gekennzeichnet) gesehen — danach befindlichen abfallenden Abschnitt  $L_2$ .

In dem dargestellten Fall wurde zwischen den ansteigenden und abfallenden Abschnitt  $L_1$  beziehungsweise  $L_2$  des Verlangsamungs-Beschleunigungsteils A der Bahn 1 ein waagerechter Abschnitt  $L_3$ , der als Haltestelle dient, eingefügt. Die Länge des Abschnittes  $L_3$  wird zweckmäßig so gewählt, daß sie das 1,5fache eines Fahrzeuges beziehungsweise Zuges 2 beträgt.

Im Sinne der Erfindung beträgt das Gefälle auf dem ansteigenden Abschnitt  $L_1$  beziehungsweise auf dem abfallenden Abschnitt  $L_2$  vorteilhaft maximal 45°, im

dargestellten Fall wurde der Wert von  $\alpha_{MAX}$  auf  $24^\circ$  festgelegt. Der Wert der durchschnittlichen Steilheit  $\alpha_D$  beträgt erfindungsgemäß  $10-15^\circ$ , hier  $12^\circ$ . Die Bahn 1 ist in den Abschnitten  $L_1$  und  $L_2$  in Fig. 1 wellenartig ausgebildet, wobei der Krümmungsradius  $R$  ihrer in einer senkrechten Ebene liegende Kurve vorzugsweise  $100-105$  m, in diesem Fall  $103,5$  m beträgt.

In dem dargestellten Fall wurden für die Längen der Abschnitte  $L_1$  und  $L_2$  in gleicher Weise  $87$  m, für die Länge des Abschnittes  $L_3$ :  $120$  m und als Gesamtlänge des Verlangsamungs-Beschleunigungsteils  $A$  der Bahn 1  $294$  m gewählt.

In Fig. 1 wurden die sich an den Verlangsamungs-Beschleunigungsteil  $A$  der Bahn 1 an den Punkten  $P_1$  beziehungsweise  $P_6$  anschließenden weiteren Bahnteile als Waagerechte eingetragen. Aus Fig. 1 kann gut entnommen werden, daß der Abschnitt  $L_1$  im Punkt  $P_2$  ihren Inflektionspunkt hat und sich in Punkt  $P_3$  an den zwischengeschalteten Abschnitt  $L_3$ , der als ein in der Waagerechte liegender Punkt dargestellt ist, anschließt. Der Abschnitt  $L_2$  schließt sich an den Abschnitt  $L_3$  im Punkt  $P_4$  an, und ihr Inflektionspunkt liegt im Punkt  $P_5$ . Die Punkte  $P_2$  und  $P_3$  sind gleichzeitig auch die Halbierungspunkte der Abschnitte  $L_1$  beziehungsweise  $L_2$ . Die Mittellinie des Verlangsamungs-Beschleunigungsteils  $A$  wurde mit 3 gekennzeichnet, es soll jedoch bemerkt werden, daß dieser Teil der Bahn 1 nicht unbedingt spiegelbildartig sein muß.

In Fig. 1 wurde der maximale Niveauunterschied mit  $H_{MAX}$  bezeichnet. Im dargestellten Fall beträgt dieser Wert  $18,88$  m.

Die Wahl der oben erwähnten Werte des Verlangsamungs-Beschleunigungsteils  $A$  der Bahn 1 hängt natürlich immer von der Gesamtmasse des Fahrzeuges (beziehungsweise Zuges) 2, vom Ausmaß der Beschleunigung, von der Fahrzeit, den Widerständen usw. ab.

Bei den Abmessungen der beispielhaften Ausführungsform gemäß Fig. 1 wurde von den Maßen eines durchschnittlichen Budapester Metrozuges ausgegangen. Die als Beispiel angenommene Metro besteht aus fünf Wagen, das Gewicht jeweils eines Metrowagens beträgt bei durchschnittlicher Passagierauslastung  $34$  Tonnen, das heißt, das Gesamtgewicht des Zuges beträgt  $170$  Tonnen.

Es wurde von der Annahme ausgegangen, daß der Bahnniveauunterschied  $H_{MAX}$  so gewählt wird, daß die gewinnbare potentielle Energie und die daraus gewinnbare Bewegungsenergie eine positive Beschleunigung des Zuges 2 von einem Kriechgang von  $10$  km/h auf eine Maximalgeschwindigkeit  $v_2$  von  $70$  km/h ermöglichen. In Fig. 2 wird in einem Diagramm der Zusammenhang zwischen dem Niveauunterschied  $H$  der Bahn 1 und der damit erreichbaren Fahrgeschwindigkeit  $v$  betrachtet. Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, sind zum Erreichen der Geschwindigkeit  $v_2$  von  $70$  km/h  $19,27-0,39$  m notwendig, das heißt, es wird ein Niveauunterschied von  $18,88$  m benötigt, wenn eine Startgeschwindigkeit von  $10$  km/h als Ausgangsgeschwindigkeit angenommen wird.

In dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsfall ist laut eigenen Berechnungen die größte Beschleunigung in Fahrtrichtung  $1,5$  m/s<sup>2</sup>, die durchschnittliche Beschleunigung des Zuges 2 hingegen  $1$  m/s<sup>2</sup>. Die Beschleunigungszeit beträgt gemäß eigenen Berechnungen  $22$  s. Die im Verlangsamungs-Beschleunigungsteil  $A$  der Bahn 1 auftretende maximale Zentripetalbeschleunigung beträgt  $0,372$  g (was bedeutet, daß mit einer Gewichtszunahme von  $37,2\%$  gerechnet werden muß). Die

Beschleunigungszeit beträgt jedoch hier nur  $2,26$  s.

Nach der Abfahrt von der Haltestelle, also vom Abschnitt  $L_3$ , beschleunigt der Fahrzeugmotor den Zug 2 auf den Kriechgang von  $10$  km/h, und so erreicht die Front des Zuges 2 in diesem Fall den als Beschleunigungsstrecke dienenden Abschnitt  $L_2$ . Bis zu dem Punkt  $P_6$  des abfallenden Abschnittes  $L_2$  beschleunigt der Zug 2 auf die Endgeschwindigkeit von  $70$  km/h, was rein auf den Niveauunterschied  $H_{MAX}$  zurückzuführen ist. Zum Halten einer gleichmäßigen Fahrgeschwindigkeit  $v_2$  auf dem folgenden waagerechten Teil der Bahn 1 liefert der Fahrzeugmotor die benötigte Energie. Bei Erreichen des nächsten Verlangsamungs-Beschleunigungsteils  $A$  der Bahn 1, also bei der nächsten Haltestelle, wird die Bewegungsenergie des Zuges 2 im ansteigenden Abschnitt  $L_1$  in potentielle Energie umgewandelt, währenddessen der Zug die Haltestelle (Abschnitt  $L_3$ ) immer langsamer werdend erreicht (z. B. mit einem Kriechgang von  $10$  km/h) und dort zum Stehen kommt. Darauf folgend wiederholt sich der oben beschriebene Vorgang ständig.

Es soll bemerkt werden, daß in Fig. 1 der Einfachheit halber von den fünf Wagen des Zuges 2 nur zwei dargestellt wurden.

Bei der Personenbeförderung ist es zweckmäßig, die Passagiere vorher auf den ansteigenden beziehungsweise abfallenden Abschnitt  $L_1$  und  $L_2$  durch eine Ansage oder eine Melodie aufmerksam zu machen. So werden die Passagiere von der Gewichtszunahme nicht so sehr überrascht.

Das erfindungsgemäße System hat die folgenden Hauptvorteile:

Unseren Schätzungen zufolge beträgt die Einsparung an Zugenergie gegenüber den üblichen Budapester elektrisch betriebenen Metros etwa  $67\%$ . Dies ist ein Mehrfaches der Energieeinsparung, die gegenwärtig mit den zu Versuchszwecken empfohlenen Schwungrad- und Rekuperationssystemen erreicht werden kann. Weiterhin kann auch der gegenwärtig genutzte Fahrzeugpark ohne Veränderungen bestehen bleiben, der Bedarf an Beschleunigungszugkraft beziehungsweise der Leistungsbedarf verringert sich im Vergleich zu den gebräuchlichen Systemen bedeutend, und dadurch können die Betriebskosten auf das Minimale gesenkt werden. Bei dem erfindungsgemäßen System verringert sich die Beanspruchung der Bremsvorrichtung im Vergleich zu den gebräuchlichen Systemen auf höchstens  $2\%$ . Dadurch verlängert sich die Lebensdauer der Bremsen, und der Instandhaltungsbedarf sinkt. Bei den erfindungsgemäßen Beschleunigungen (und Verlangsamungen) sind die kraftübertragenden Mechanismen frei von Belastungen, somit haben sie auch eine längere Lebensdauer. Bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Systems bei Metros können die Haltestellen über der Erde gebaut werden, damit können die kostspieligen Rolltreppen und Stationen unter der Erde eingespart werden. Es ist auch eine Ausführung möglich, bei der die Bahn über der Erde ausgebaut ist und sich an diese in den Stationen erhöhte Verlangsamungs-Beschleunigungsteile  $A$  der Bahn 1 anschließen.

Unseren Schätzungen nach können sich die Mehrinvestitionen, die durch die Verlangsamungs-Beschleunigungsteile  $A$  der Bahn 1 erforderlich werden, bei weitem rentieren, da auch die oben erläuterten erheblichen Kosteneinsparungen durchaus nicht zu vernachlässigen sind.

Als weiterer Vorteil soll erwähnt werden, daß das mit

dem erfindungsgemäßen Bahnsystem ausgestattete Kraftfahrzeug auch unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes vorteilhaft ist, da beim Betreiben von mit inneren Verbrennungsmotoren ausgestatteten Kraftfahrzeugen vor allem die Beschleunigungs- und Verlangsamungsphasen die Phasen sind, die am meisten umweltschädlich sind. 5

Gegebenenfalls bietet das erfindungsgemäße Bahnsystem eine gute Möglichkeit, mehrere einander kreuzende Bahnen mit verschobenen Etagen zu führen. 10

#### Liste der Bezugszeichen

A	Verlangsamungs-Beschleunigungsteil	
B	Abstand zweier solcher Bahnteile (A) voneinander	15
L <sub>1</sub>	ansteigender Abschnitt	
L <sub>2</sub>	abfallender Abschnitt	
L <sub>3</sub>	Abschnitt (Haltestelle)	
R	Krümmungsradius	
$\alpha_{MAX}$	maximaler Winkel	20
$\alpha_D$	durchschnittlicher Winkel	
H <sub>MAX</sub>	maximaler Niveauunterschied der Bahn	
v	Fahrgeschwindigkeit	
P <sub>1</sub>	Punkt (auf der Bahn)	
P <sub>2</sub>	Inflektionspunkt	25
P <sub>3</sub>	Punkt	
P <sub>4</sub>	Punkt	
P <sub>5</sub>	Inflektionspunkt	
P <sub>6</sub>	Punkt	
1	Bahn	30
2	Fahrzeug (Zug)	
3	Mittellinie des Teils "A" der Bahn	

#### Patentansprüche

1. Bahn für Verkehrsmittel, insbesondere für Stadtbahnen, zum Beispiel für Metros, mit mindestens einem Anstieg und einem Gefälle, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens einen Verlangsamungs-Beschleunigungsteil (A) hat, der die Bewegungsenergie des Fahrzeuges bzw. Zuges (2) beim Verlangsamen zumindest zum größten Teil vor der Haltestelle in potentielle Energie umwandeln, dann diese potentielle Energie zur nächsten Beschleunigung zumindest zum größten Teil in Bewegungsenergie zurückverwandeln kann und der einen ansteigenden Abschnitt (L<sub>1</sub>) und in Fahrtrichtung gesehen darauffolgend einen abfallenden Abschnitt (L<sub>2</sub>) hat. 35
2. Bahn gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlangsamungs-Beschleunigungsteil (A) der Bahn (1) wellenartig angelegt ist, bei dem gegebenenfalls zwischen die ansteigenden und abfallenden Abschnitte (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>) ein waagerechter Abschnitt (L<sub>3</sub>) eingefügt ist, der als Haltestelle dient, und dessen Länge vorzugsweise das 1,5fache des Fahrzeuges beziehungsweise Zuges (2) beträgt. 50
3. Bahn gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Gefälle in den ansteigenden beziehungsweise abfallenden Abschnitten (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>) höchstens 45%, vorzugsweise 20—25% ist, weiterhin der durchschnittliche Steilheitswinkel ( $\alpha_D$ ) 10—15° ist, und der Krümmungsradius (R) der in einer senkrechten Ebene der Bahn (1) liegenden Kurve vorzugsweise 100—105 m beträgt. 60 65

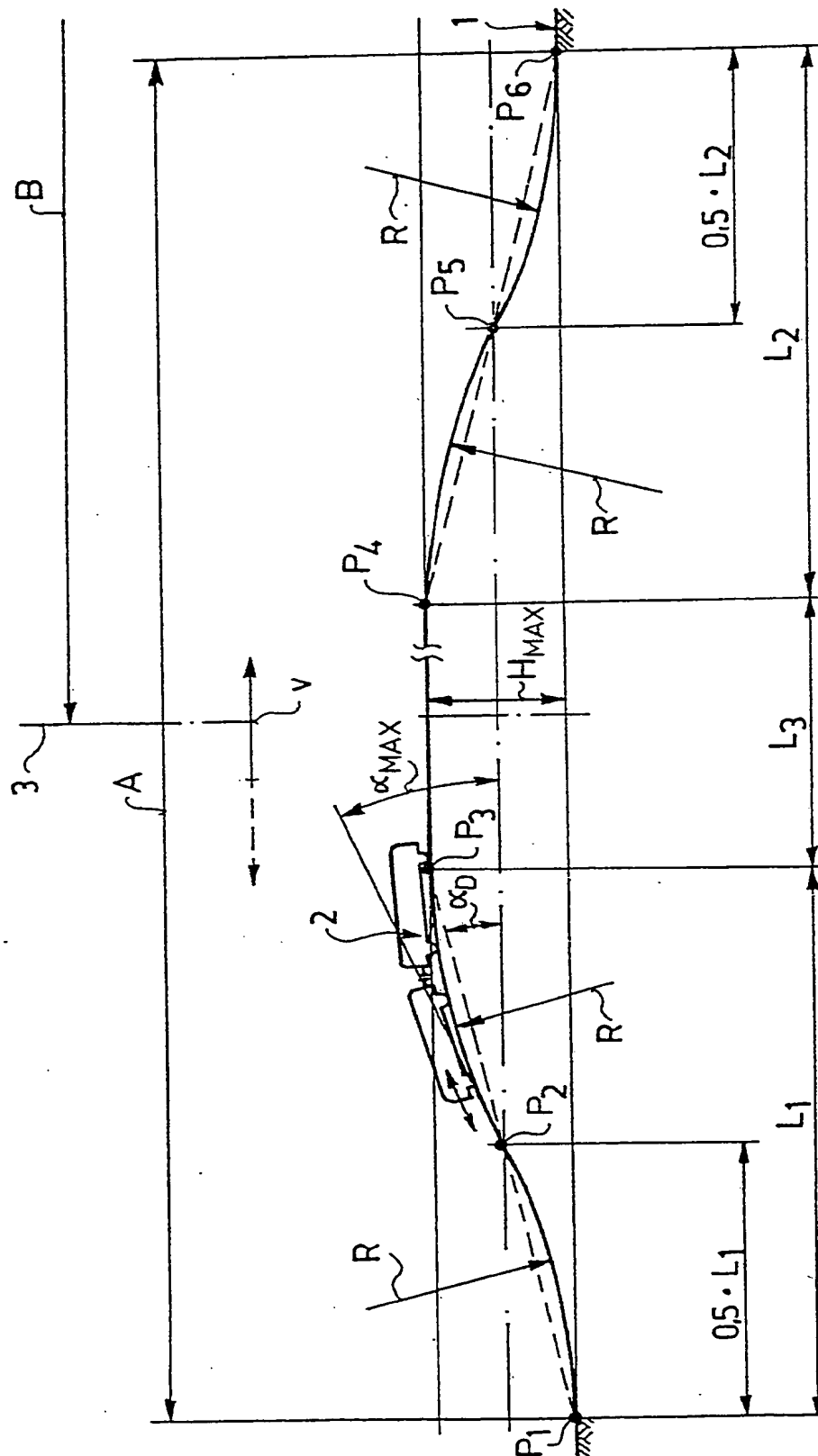


Fig.1

3840224

13\*

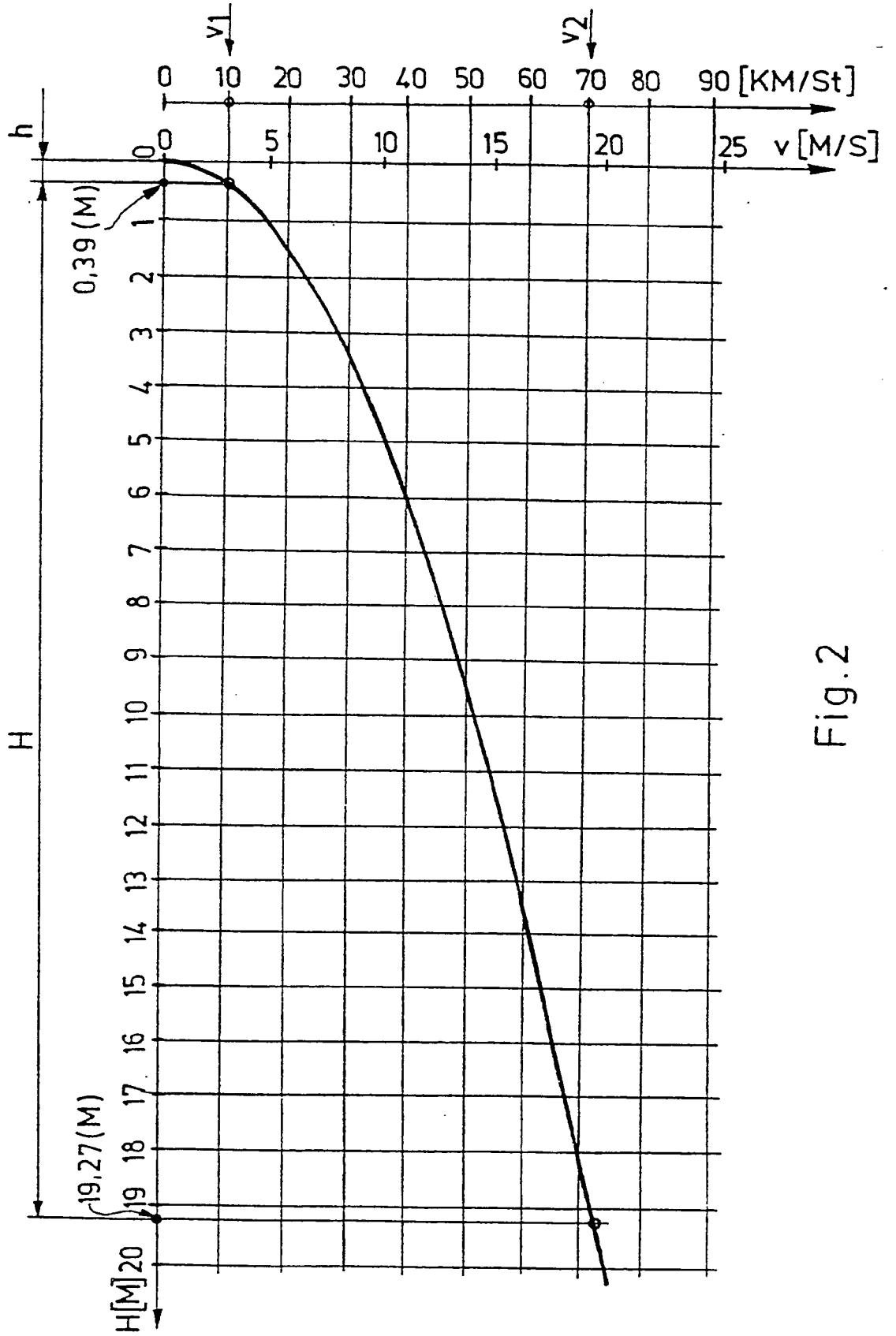


Fig.2